

CT/JP 99/05678

REC'D 29 OCT 1999

WIPO 14 OCT 99

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1998年10月20日

出 願 番 号

Application Number:

平成10年特許願第318443号

出 願 人

Applicant (s):

日本電気株式会社

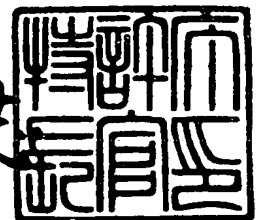
09/807823

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

1999年 8月26日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

山 佐 健 志



出証番号 出証特平11-3060346

【書類名】 特許願

【整理番号】 34803051

【提出日】 平成10年10月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B41J 02/04

【発明の名称】 インクジェット記録ヘッドの駆動方法

【請求項の数】 7

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

    【氏名】 奥田 真一

【特許出願人】

    【識別番号】 000004237

    【氏名又は名称】 日本電気株式会社

    【代表者】 金子 尚志

    【電話番号】 03-3454-1111

【代理人】

    【識別番号】 100099830

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 西村 征生

    【電話番号】 048-825-8201

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 038106

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9407736

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 インクジェット記録ヘッドの駆動方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電気機械変換器に駆動電圧を印加し、当該電気機械変換器を変形させて、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることで、前記圧力発生室に連通されるノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法であって、

前記駆動電圧の電圧波形を、

前記圧力発生室の体積を増加させる方向に、電圧を印加する第 1 の電圧変化プロセスと、

次いで、前記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第 2 の電圧変化プロセスと、

前記圧力発生室の体積を再び増加させる方向に、電圧を印加する第 3 の電圧変化プロセスとを少なくとも有して構成すると共に、

前記第 2、第 3 の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間  $t_2$ 、 $t_3$  を、前記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期  $T_c$  に対して、

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 2】 前記第 3 の電圧変化プロセスの開始時刻を、前記第 2 の電圧変化プロセスの終了時刻と一致させたことを特徴とする請求項 1 記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 3】 前記駆動電圧の電圧波形に、前記第 1 の電圧変化プロセス、前記第 2 の電圧変化プロセス及び前記第 3 の電圧変化プロセスに次いで、前記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第 4 の電圧変化プロセスを含ませることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項 4】 前記第 4 の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間  $t_4$  を、前記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期  $T_c$  に対し、

$$0 < t_4 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴とする請求項3記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項5】 前記第2の電圧変化プロセスの開始時刻から、前記第4の電圧変化プロセスの開始時刻までの時間間隔を、前記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して、略 $1/2$ の長さに設定したことを特徴とする請求項3又は4記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項6】 前記電気機械変換器が圧電アクチュエータであることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項7】 開口径が $20 \sim 40 \mu m$ の前記ノズルを備えるインクジェット記録ヘッドを駆動して、滴径 $5 \sim 25 \mu m$ のインク滴を吐出させることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

この発明は、ノズルから微小なインク滴を吐出して文字や画像の記録を行うインクジェット記録ヘッドの駆動方法に関する。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

従来から、この種の記録ヘッドの1つとして、印字情報に応じてノズルからインク滴を吐出する、いわゆるオンデマンド型インクジェット記録ヘッドが広く知られている（例えば、特公昭53-12138号公報参照）。図15は、オンデマンド型インクジェット記録ヘッドのうち、カイザー型と呼ばれるインクジェット記録ヘッドの基本構成を概略示す断面図である。

このカイザー型記録ヘッドにおいては、同図に示すように、インクの上流側で、圧力発生室91と共通インク室92とがインク供給孔（インク供給路）93を介して連結され、また、インクの下流側で圧力発生室91とノズル94とが連結

されている。また、圧力発生室 91 の図中底板部が、振動板 95 によって構成され、この振動板 95 の裏面には、圧電アクチュエータ 96 が設けられている。

#### 【0003】

このような構成において、印字動作時には、印字情報に応じて圧電アクチュエータ 96 を駆動して振動板 95 を変位させ、これにより、圧力発生室 91 の体積を急激に変化させて圧力発生室 91 に圧力波を発生させる。この圧力波によって、圧力発生室内 91 に充填されているインクの一部がノズル 94 を通って外部に噴射され、インク滴 97 となって吐出する。吐出したインク滴 98 は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録媒体上に文字や画像が記録されることになる。

#### 【0004】

ここで、インク滴吐出動作について、さらに言及すれば、このオンデマンド型インクジェット記録方式では、圧電アクチュエータ 96 に所定の駆動電圧を印加する度に、インク滴 1 滴が吐出するのであるが、従来では、インク滴 1 滴を吐出させる際には、台形状の駆動電圧波形を、圧電アクチュエータ 96 に印加することが一般に行われている。

この台形状の駆動電圧波形は、図 16 に示すように、圧力発生室 91 を圧縮してインク滴 97 を吐出させるために、圧電アクチュエータ 96 への印加電圧  $V$  を基準電圧から所定の高さ  $V_1$  まで直線的に増加させる第 1 の電圧変化プロセス 51 と、所定の高さ  $V_1$  に達した印加電圧  $V$  を暫時 ( $t_1$  時間) 保持する電圧保持プロセス 52 と、この後、圧縮状態の圧力発生室 91 を元に戻すために、印加電圧  $V_1$  を基準電圧に戻す第 2 の電圧変化プロセス 53 とからなっている。

なお、駆動電圧の増減による圧電アクチュエータの動きは、圧電アクチュエータ 96 の構造や分極の向きに依存するので、上記した圧電アクチュエータの動きとは逆向きに動く圧電アクチュエータも存在するが、この逆動作の圧電アクチュエータに対しては、駆動電圧も逆向きにすれば、上記したと同様の吐出動作をするので、この明細書の「発明の詳細な説明」の欄では、以下の説明を簡単にするため、印加電圧が増加すると、圧力発生室を圧縮する向きに働き、反対に、印加

電圧が減少すると、圧力発生室を膨張させる向きに働く圧電アクチュエータを代表させて説明する。

【0005】

ところで、この種のインクジェット記録ヘッドにおいては、インク滴97が記録紙の上に着弾して記録ドットが形成されることによって、1画素が形成されるため、記録ドットの径が大きければ、粒状感が現れて高画質が得られない、という問題がある。そこで、粒状感の少ない滑らかな画像（高画質）を得るためのドット径条件は、経験上、 $40\mu\text{m}$ 以下であるとされ、ドット径が $25\mu\text{m}$ 以下であれば大変好ましいと考えられている。小さなドット径を得るには、吐出するインク滴97の径を小さくすれば良いことは明かである。インク滴径とドット径の関係は、インク滴97の飛翔速度（滴速）、インク物性（粘度、表面張力）、記録紙種類等に依存するが、通常ドット径はインク滴径の2倍程度となる。したがって、 $40\mu\text{m}$ のドット径を得るには、インク滴径を $20\mu\text{m}$ としなければならず、さらに小さなドット径、例えば $25\mu\text{m}$ 以下のドット径を得るには、インク滴径を $12.5\mu\text{m}$ 以下にすることが必要となる。

一方、理論的考察により、圧力波によって、ノズル94からインク滴97を吐出させる場合、吐出されるインク滴97の体積 $q$ は、式（1）に示すように、①ノズル94の開口面積 $A_n$ 、②インク滴97の速度（滴速） $V_d$ 、③圧力発生室91内の圧力波（音響的基本振動モード）の固有周期 $T_c$ 等に比例することがわかっている。したがって、インク滴97を小型化するには、その分、ノズル開口径、滴速 $V_d$ 及び圧力波の固有周期 $T_c$ を小さくすれば良いと考えられる。

【0006】

【数1】

$$q \propto T_c V_d A_n \quad \dots (1)$$

【0007】

そこで、まず、圧力波の固有周期 $T_c$ について論じる。圧力波の固有周期 $T_c$ は、圧力発生室91の体積を減少させることによって、あるいは圧力発生室壁の剛性を上げ、圧力発生室91の音響容量を小さくすることによって、短くなる。し

かしながら、圧力波の固有周期 $T_c$ を例えば数 $\mu s$ のオーダーにまで極端に短くすると、リフィルの円滑性が損なわれ、この結果、吐出効率や最高駆動周波数等の面で悪影響を生じるため、實際上、圧力波の固有周期 $T_c$ は、 $10 \sim 20 \mu s$ 程度が最小限界である。

次に、インク滴97の滴速 $V_d$ について述べる。滴速 $V_d$ は、インク滴97の着弾位置精度を左右し、滴速が遅いと、インク滴97が空気の流れの影響を受けて、インク滴97の着弾位置精度は悪くなる。したがって、滴径を小さくすることだけを求めて、滴速 $V_d$ を極端に小さくすることはできず、結局、高い画像品質を得るためには、インク滴97の滴速 $V_d$ についても、一定以上の値（通常は $4 \sim 10 m/s$ 程度）が必要である。

#### 【0008】

次に、ノズル開口径について述べる。上記した事情により、インクが充填された圧力発生室91内の圧力波の固有周期 $T_c$ を $10 \sim 20 \mu s$ 程度に、インク滴97の滴速 $V_d$ を $4 \sim 10 m/s$ 程度に設定し、かつ、図16に示す駆動電圧波形で、圧電アクチュエータ96を駆動した場合、得られる最小インク滴径は、ノズル径97と同等程度の大きさが限界であることが、経験上わかっている。したがって、 $20 \mu m$ のインク滴径を得るには、ノズル径を $20 \mu m$ とし、 $20 \mu m$ よりもさらに小さなインク滴径を得るには、 $20 \mu m$ よりもさらに小さなノズル径とすることが要求される。しかし、 $20 \mu m$ よりも小さなノズル径を形成することは、製造面で多くの困難が伴うと共に、ノズルの目詰まりの発生確率が増加するため、ヘッドの信頼性及び耐久性確保が著しく損なわれることとなる。このため、実際には、 $25 \sim 30 \mu m$ 程度がノズル径の当面の下限であり、したがって、上述の条件では、得られる最小滴径は $25 \sim 30 \mu m$ 程度が限界である。なお、目詰まりの問題が将来解決すれば、ノズル径の下限は、 $20 \mu m$ 程度にまで伸びることが予想される。

#### 【0009】

このような問題を打開する手段として、例えば、特開昭55-17589号公報等に記載されているように、逆台形状の駆動電圧波形を圧電アクチュエータ96に印加して、「引き打ち」を行うことで、ノズル径よりも小さなインク滴を吐

出させるようにしたインクジェット駆動方法が提供されている。

この駆動電圧波形は、図 17 に示すように、圧力発生室 91 を膨張させるために、基準電圧  $V_1$  ( $> 0 \text{ V}$ ) に設定されている圧電アクチュエータ 96 の印加電圧  $V$  を例えば  $0 \text{ V}$  にまで減少させる第 1 の電圧変化プロセス 54 と、 $0 \text{ V}$  にまで減少した印加電圧  $V$  を暫時 ( $t_1$  時間) 保持する電圧保持プロセス 55 と、この後、圧力発生室 91 を圧縮してインク滴 97 を吐出させると共に、次の吐出動作に備えさせるために、圧電アクチュエータ 96 の印加電圧  $V$  を元の電圧  $V_1$  の高さにまで増加させる第 2 の電圧変化プロセス 56 とからなっている。

このように、吐出直前に圧力発生室を膨張させると、ノズル開口面にあったメニスカスがノズル内部に引き込まれ、メニスカスの形状が凹となった状態から吐出が行われるので、この駆動方法は、「メニスカス制御」、「引き打ち」等と呼ばれる。

この「メニスカス制御 (引き打ち)」の駆動方法によれば、吐出直前にメニスカスがノズル内部に引き込まれて、ノズル内部のインク量が減少する上、吐出時における液滴形成状態が変化する等に起因して、ノズル径よりも小さな径のインク滴が形成されるので、高画質記録を得ることができるのである。これに加えて、吐出するインク滴が、ノズル開口面の濡れの影響も受け難くなるため、吐出安定性も向上する。

#### 【0010】

また、特開昭 59-143655 号公報には、吐出直前におけるメニスカスの後退量を可変として、同じノズルから異なった径のインク滴を吐出させることで、メニスカス制御を滴径変調に利用する手段が提案されている。

また、メニスカス制御を行う場合の駆動電圧の電圧波形についてもいくつか提案がなされており、例えば特開昭 59-218866 号公報には、微小滴が得られ易くなる条件として、第 1 の電圧変化プロセス 54 と第 2 の電圧変化プロセス 56 の時間間隔 (タイミング) を規定している。また、特開平 2-192947 号公報には、第 1 及び第 2 の電圧変化プロセス 54, 56 の電圧変化時間を圧力波の固有周期  $T_c$  の整数倍に設定することにより、インク滴吐出後における圧力波の残響の発生を防止し、これにより、サテライトの発生を防止する駆動方法が



開示されている。

# 【0011】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記公報記載のメニスカス制御（引き打ち）の駆動方法（図17）にあっても、インク滴径を小さくできるのは、実験によれば、せいぜい、ノズル径の約90%程度までであり、したがって、 $20\mu\text{m}$ 以下の微小インク滴を得て、高画質記録を実現することは、實際上困難である。すなわち、この出願に係る発明者達が、ノズル径 $=30\mu\text{m}$ 、圧力波の固有周期 $T_c=14\mu\text{s}$ 、滴速 $V_d=6\text{m/s}$ の条件下で、かつ、図17に示す駆動電圧波形で吐出実験を行った結果によれば、基準電圧 $V_1$ 、第1の電圧変化プロセス54における電圧変化時間（立ち下げ時間） $t_1$ 、電圧保持プロセス55における電圧保持時間 $t_1'$ 、第2の電圧変化プロセス56における電圧変化時間（立ち上げ時間） $t_2$ の値を様々に変え、かつ、組み合わせても、得られる滴径（サテライトを含む吐出インク総量から算出した相当径）は $28\mu\text{m}$ が下限であった。

# 【0012】

また、図17に示す逆台形状の電圧波形で高速駆動した場合、インク滴吐出後に大きな圧力波の残響が生じ、この結果、低速のサテライトが発生したり、吐出不良が発生する等、吐出安定性が欠如する、という不都合もある。この発明者達が行った実験では、駆動周波数が $8\text{kHz}$ を越えると、ノズル内への気泡の巻き込みや、ノズル周辺へのサテライト滴の付着等が発生し、これに起因して、滴速 $V_d$ の低下や吐出不良が観測された。この実験で使用したヘッドは、図16に示す台形状の駆動電圧波形では、 $10\text{kHz}$ 以上の駆動が可能なヘッドであることが確認されているため、吐出不良の発生は、図17に示す逆台形状の駆動電圧波形によって生じる圧力波の残響に起因していることは明かである。

# 【0013】

一方、特開平2-192947号公報に記載されているように、図17に示す駆動電圧波形において、立ち下げ時間 $t_1$ 及び立ち上げ時間 $t_2$ を固有周期 $T_c$ の整数倍に設定した場合、吐出安定性は確保できるものの、今度は、微小滴を得ることが困難になってしまう。すなわち、この発明者等の実験結果によると、立ち

上げ／立ち下げ時間 ( $t_1/t_2$ ) を固有周期  $T_c$  と一致させた場合、 $30\mu\text{m}$  のノズル径では、得られる微小滴は  $35\mu\text{m}$  であり、ノズル径以下の滴径を得ることは困難であることがわかった。

【0014】

この発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、ノズル径よりも小径（例えば  $20\mu\text{m}$  レベル）の微小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できるインクジェット記録ヘッドの駆動方法を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項1記載の発明は、電気機械変換器に駆動電圧を印加し、当該電気機械変換器を変形させて、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることで、上記圧力発生室に連通されるノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記駆動電圧の電圧波形を、上記圧力発生室の体積を増加させる方向に、電圧を印加する第1の電圧変化プロセスと、次いで、上記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第2の電圧変化プロセスと、上記圧力発生室の体積を再び増加させる方向に、電圧を印加する第3の電圧変化プロセスとを少なくとも有して構成すると共に、上記第2、第3の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間  $t_2$ 、 $t_3$  を、上記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期  $T_c$  に対して、

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴としている。

【0016】

また、請求項2記載の発明は、請求項1記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記第3の電圧変化プロセスの開始時刻を、上記第2の電圧変化プロセスの終了時刻と一致させたことを特徴としている。

【0017】

また、請求項3記載の発明は、請求項1又は2記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記駆動電圧の電圧波形に、上記第1の電圧変化プロセス

、上記第2の電圧変化プロセス及び上記第3の電圧変化プロセスに次いで、上記圧力発生室の体積を減少させる方向に、電圧を印加する第4の電圧変化プロセスを含ませることを特徴としている。

【0018】

また、請求項4記載の発明は、請求項3記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記第4の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間 $t_4$ を、上記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対し、

$$0 < t_4 < T_c / 2$$

の長さに設定したことを特徴としている。

【0019】

請求項5記載の発明は、請求項3又は4記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記第2の電圧変化プロセスの開始時刻から、上記第4の電圧変化プロセスの開始時刻までの時間間隔を、上記圧力発生室内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して、略 $1/2$ の長さに設定したことを特徴としている。

【0020】

また、請求項6記載の発明は、請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、上記電気機械変換器が圧電アクチュエータであることを特徴としている。

【0021】

また、請求項7記載の発明は、請求項1乃至5のいずれか1に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、開口径が $20 \sim 40 \mu\text{m}$ の上記ノズルを備えるインクジェット記録ヘッドを駆動して、滴径 $5 \sim 25 \mu\text{m}$ のインク滴を吐出させることを特徴としている。

【0022】

【発明の理論的妥当性】

集中定数系等価回路モデルを用いて、この発明の妥当性の理論的根拠について説明する。

図12(a)は、図1に示すインクジェット記録ヘッドのインク充填状態における等価電気回路図である。同図において、 $m_0$ は、圧電アクチュエータ4と振

動板 3 とから構成される振動系のイナータンス（音響質量） $[kg/m^4]$ 、 $m_2$  は、インク供給孔 6 のイナータンス、 $m_3$  はノズル 7 のイナータンス、 $r_2$  はインク供給孔 6 の音響抵抗 $[Ns/m^5]$ 、 $r_3$  はノズル 7 の音響抵抗、 $c_0$  は振動系の音響容量 $[m^5/N]$ 、 $c_1$  は圧力発生室 2 の音響容量、 $c_2$  はインク供給孔 6 の音響容量、 $c_3$  はノズル 7 の音響容量、 $\phi$  はインクに与えられる圧力 $[Pa]$ を表している。

ここで、圧電アクチュエータ 4 に高剛性の積層型圧電アクチュエータを使用するとすれば、振動系のイナータンス $m_0$ 及び音響容量 $c_0$ は無視できるため、同図（a）の等価回路は、近似的に、同図（b）の等価回路で表される。

また、インク供給孔 6 とノズル 7 のイナータンス $m_2$ 、 $m_3$ との間で、 $m_2 = k m_3$ の関係式が、インク供給孔 6 とノズル 7 の音響抵抗 $r_2$ 、 $r_3$ との間で、 $r_2 = k r_3$ の関係式がそれぞれ成り立つと仮定して、図 13（a）に示すように、立ち上がり角度 $\theta$ を持つ駆動電圧波形を入力した場合について回路解析を行うと、 $0 \leq t \leq t_1$ の立ち上がり時間内におけるノズル部 7 における体積速度 $u_3'$  $[m^3/s]$ は、式（2）で与えられる。

【0023】

【数 2】

$$u_3'(t, \theta) = \frac{1 \tan \theta}{\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \left[ 1 - \frac{w}{E_c} \exp(-D_c \cdot t) \sin(E_c \cdot t - \phi_0) \right] \dots (2)$$

$(0 \leq t \leq t_1)$

ただし、
$$E_c = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{k}}{c_1 m_3} - D_c^2}$$

$$D_c = \frac{r_3}{2m_3}$$

$$w^2 = \frac{1 + \frac{1}{k}}{c_1 m_3}$$

$$\phi_0 = \tan^{-1} \frac{E_c}{D_c}$$

【0024】

次に、図13(b)に示すような、複雑な形状(台形状)の駆動電圧波形を用いた場合の体積速度は、駆動電圧波形の節部(A, B, C, Dの各点)で発生する圧力波を重ね合わせてゆくことによって求めることができる。すなわち、同図(b)の駆動電圧波形で発生する、ノズル部7における体積速度 $u_3$  [ $m^3/s$ ]は、式(3)で与えられる。

【0025】

【数3】

$$\left. \begin{aligned} u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) & (0 \leq t < t_1) \\ u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) & (t_1 \leq t < t_1 + t'_1) \\ u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) & (t_1 + t'_1 \leq t < \\ & + u'_3(t - (t_1 + t'_1), \theta_3) & t_1 + t'_1 + t_2) \\ u_3(t) &= u'_3(t, \theta_1) + u'_3(t - t_1, \theta_2) & \\ & + u'_3(t - (t_1 + t'_1), \theta_3) & \\ & + u'_3(t - (t_1 + t'_1 + t_2), \theta_4) & (t \geq t_1 + t'_1 + t_2) \end{aligned} \right\} (3)$$

【0026】

ところで、同図(a)の駆動電圧波形に対し、実際に式(3)を用いて体積速度 $u_3$ を求めてみると、体積速度 $u_3$ の時間的变化の様子が、立ち上げ時間 $t_1$ によって大きく変化することがわかる。その一例を図14に示す。 $t_1 < T_c$  ( $T_c$ : 圧力波の固有周期)の領域では、立ち上げ時間 $t_1$ の減少(同図(a) → (b) → (c))に伴って、体積速度 $u_3$ が0となる時間( $t''$ )が早くなる。

なお、図中の粒子速度は、ノズル部7における体積速度 $u_3'$ /ノズル開口面積と定義される。このように、駆動電圧波形によって、ノズル部7での体積速度波形が大きく変化するため、これを微小滴吐出原理として利用できる。何故なら、吐出する滴体積 $q$ は、式(4)で表されることから明かなように、図14の斜線部面積に略比例するためである。

【0027】

【数4】

$$q \propto \int^r u(t) dt \quad \dots (4)$$

## 【0028】

すなわち、立ち上げ時間  $t_1$  を小さく設定すれば、斜線部面積が小さくなるため、小さな滴体積（滴径） $q$  が得られる。特に、立ち上げ時間  $t_1$  を圧力波の固有周期  $T_c$  の半分以下に設定することによって、微小滴の吐出が可能となる（立ち下げ時間  $t_2$  についても、同様である）。

## 【0029】

なお、図17に示す駆動電圧波形を用いて、メニスカス制御（引き打ち）を行う場合に、立ち上げ時間  $t_2$  を圧力波の固有周期  $T_c$  の半分以下に設定することは、微小滴吐出を行う上で特に好ましい。何故なら、本来のメニスカス制御による滴径減少効果に加えて、上記した体積速度波形の変化（斜線部面積減少）の効果が作用するため、インク滴を一段と小粒にできるからである。

## 【0030】

ただし、図17に示す逆台形状の駆動電圧波形の立ち上げ時間  $t_2$  を小さく設定するだけでは、 $20 \mu m$  レベルの微小滴を得るのは未だ困難である。そこで、図4(a)に示すように、駆動電圧波形を立ち上げた直後に、圧力発生室2の体積を急激に増加させる第3の電圧変化プロセス（電圧立ち下げのプロセス）を圧電アクチュエータ4に加えるようにすれば、図5(a)に示すように、斜線部面積がさらに減少し、インク滴をさらに一段と小粒にできる。また、立ち下げによる滴径短小の効果は、立ち上げと立ち下げの時間間隔に依存し、図4(b)に示すように、立ち下げのタイミングを立ち上げ直後に設定すれば、つまり、第3の電圧変化プロセスの開始時刻を、第2の電圧変化プロセスの終了時刻と一致させるように設定すれば、図5(b)に示すように、最も微小な滴径が得られる。

## 【0031】

また、上記したように、急激な立ち上げ／立ち下げ時間を有する駆動電圧波形を用いると、吐出後に大きな圧力波の残響が発生し、サテライトの発生や高速駆動時の安定性低下等の問題が生じ易くなる。そこで、請求項3、4及び5記載の

発明では、第3の電圧変化プロセスの後、残響を抑制させるための圧力波を発生させる第4の電圧変化プロセス（電圧立ち上げのプロセス）を加える。これにより、それ以前に発生した圧力波が相殺されることにより、残響の発生が抑えられ、吐出安定性を大幅に増加できる。

【0032】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。説明は、実施例を用いて具体的に行う。

#### ◇第1実施例

図1（a）は、この発明の第1実施例であるインクジェット記録装置に搭載されるインクジェット記録ヘッドの構成を示す断面図、同図（b）は、同インクジェット記録ヘッドを分解して示す分解断面図、図2は、同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径非変調型駆動回路の電氣的構成を示すブロック図、図3は、同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径変調型駆動回路の電氣的構成を示すブロック図、図4は、同インクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図、図5は、同駆動電圧波形によって、ノズル部に生じるインクの体積速度波形を示す波形図（既述）、また、図6及び図7は、この例の効果を説明するための図である。

【0033】

この例のインクジェット記録ヘッドは、図1（a）に示すように、必要に応じてインク滴1を吐出させて、記録紙上に文字や画像を印字するオンデマンド・カイザー型マルチノズル式記録ヘッドに係り、図1に示すように、細長立方体形状にそれぞれ形成され、かつ、図中紙面垂直方向に並べられた複数の圧力発生室2と、各圧力発生室2の図中底面を構成する振動板3と、この振動板3の裏面に、かつ、各圧力発生室2に対応して並設された、積層型圧電セラミックスからなる複数の圧電アクチュエータ4と、図示せぬインクタンクと連結されて、各圧力発生室2にインクを供給するための共通インク室（インクプール）5と、この共通インク室5と各圧力発生室2とを1対1に連通させるための複数のインク供給孔（連通孔）6と、各圧力発生室2と1対1に設けられ、各圧力発生室2の屈曲上

方に突起した先端部からインク滴 1 を吐出させる複数のノズル 7 とから概略構成されている。ここで、共通インク室 5、インク供給路 6、圧力発生室 2 及びノズル 7 によって、インクがこの順に移動する流路系が形成され、圧電アクチュエータ 4 と振動板 3 とから、圧力発生室 2 内のインクに圧力波を加える振動系が構成され、流路系と振動系との接点が、圧力発生室 2 の底面（すなわち、振動板 3 の図中上面）となっている。

## 【0034】

この実施例のヘッド製造工程では、図 1 (b) に示すように、精密プレス加工で円形に穿孔されることで、複数のノズル 7 が列状に又は千鳥状に配列されたノズルプレート 7 a と、共通インク室 5 の空間部が形成されたプールプレート 5 a と、インク供給孔 6 が穿孔された供給孔プレート 6 a と、複数の圧力発生室 2 の空間部が形成された圧力発生室プレート 2 a と、複数の振動板 3 を構成する振動プレート 3 a とを予め用意した後、これらのプレート 2 a, 3 a, 5 a ~ 7 a を厚さ約 20  $\mu\text{m}$  の図示せぬエポキシ系接着剤層を用いて接着接合して積層プレートを作成し、次に、作成された積層プレートと圧電アクチュエータ 4 とをエポキシ系接着剤層を用いて接合することで、上記構成のインクジェット記録ヘッドを製造することが行われる。なお、この例では、振動プレート 3 a には、電鍍（エレクトロフォーミング）で成形された厚さ 50 ~ 75  $\mu\text{m}$  のニッケル板が用いられるのに対し、他のプレート 2 a, 5 a ~ 7 a には、厚さ 50 ~ 75  $\mu\text{m}$  のステンレス板が用いられる。また、この例のノズル 7 は、開口径略 30  $\mu\text{m}$ 、裾径略 65  $\mu\text{m}$ 、長さ略 75  $\mu\text{m}$  とされ、圧力発生室 2 側に向かって径が徐々に増加するテーパ形状に形成されている。また、インク供給孔 6 も、ノズル 7 と同一形状に形成されている。

## 【0035】

次に、図 2 及び図 3 を参照して、この例のインクジェット記録装置を構成して、上記構成のインクジェット記録ヘッドを駆動する駆動回路の電氣的構成について説明する。

この例のインクジェット記録装置は、図示せぬ CPU（中央処理装置）や ROM や RAM 等のメモリを有している。CPU は、ROM に記憶されたプログラム



を実行して、RAMに確保された各種レジスタやフラグを用いて、インターフェイスを介してパーソナル・コンピュータ等の上位装置から供給された印字情報に基づいて、記録紙上に文字や画像を印刷するために、装置各部を制御する。

## 【0036】

まず、図2の駆動回路は、図4(a)に対応する駆動電圧波形信号を発生して電力増幅した後、印字情報に対応する所定の圧電アクチュエータ4, 4, …に供給して駆動することにより、滴径が常に略同じインク滴1を吐出させて、記録紙上に文字や画像を印字させるもので、波形発生回路21と、電力増幅回路22と、圧電アクチュエータ4, 4, …と1対1に接続された複数のスイッチング回路23, 23, …とから概略構成されている。

## 【0037】

波形発生回路21は、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して図4(a)に対応する示す駆動電圧波形信号を生成する。電力増幅回路22は、波形発生回路21から供給された駆動電圧波形信号を電力増幅して、図4(a)に示す増幅駆動電圧波形信号として出力する。スイッチング回路23は、入力端が電力増幅回路22の出力端に接続され、出力端が対応する圧電アクチュエータ4の一端に接続され、制御端に、図示せぬ駆動制御回路から出力される印字情報に対応する制御信号が入力されると、スイッチオンとなって、対応する電力増幅回路22から出力される増幅駆動電圧波形信号(図4(a))を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2に体積変化を生じさせて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から所定の滴径のインク滴1を吐出させる。なお、この実施例の記録ヘッドでは、インクが充填された圧力発生室2内における圧力波の固有周期 $T_c$ は、 $14\mu s$ である。吐出したインク滴は、記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録紙上に文字や画像が2値記録される。

## 【0038】

次に、図3の駆動回路は、ノズルから吐出するインク滴の径を多段階（この例では、滴径 $40\mu\text{m}$ 程度の大滴、 $30\mu\text{m}$ 程度の中滴、 $20\mu\text{m}$ 程度の小滴の3段階）に切り替えて、多階調で記録紙上に文字や画像を印字させる、いわゆる滴径変調型の駆動回路であり、滴径に応じた3種類の波形発生回路31a, 31b, 31cと、これらの波形発生回路31a, 31b, 31cと1対1に接続された電力増幅回路32a, 32b, 32cと、圧電アクチュエータ4, 4, …と1対1に接続された複数個のスイッチング回路33, 33, …とから概略構成されている。

## 【0039】

波形発生回路31a~31cは、いずれも、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、これらの波形発生回路31a~31cのうち、波形発生回路31aは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された大滴吐出用の駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して大滴吐出用の駆動電圧波形信号を生成する。波形発生回路31bは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された中滴吐出用の駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して中滴吐出用の駆動電圧波形信号を生成する。また、波形発生回路31cは、CPUによりROMの所定の記憶エリアから読み出された小滴吐出用の駆動電圧波形データをアナログ変換した後、積分処理して図4(a)に対応する小滴吐出用の駆動電圧波形信号を生成する。電力増幅回路32aは、波形発生回路31aから供給された大滴吐出用の駆動電圧波形信号を電力増幅して大滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号として出力する。電力増幅回路32bは、波形発生回路31bから供給された中滴吐出用の駆動電圧波形信号を電力増幅して中滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号として出力する。

また、電力増幅回路32cは、波形発生回路31cから供給された小滴吐出用の駆動電圧波形信号を電力増幅して小滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号（図4(a)）として出力する。

## 【0040】

また、スイッチング回路33は、図示せぬ第1, 第2, 第3のトランスファ・

ゲートから構成され、第1のトランスファ・ゲートの入力端が電力増幅回路32aの出力端に接続され、第2のトランスファ・ゲートの入力端が電力増幅回路32bの出力端に接続され、第3のトランスファ・ゲートの入力端が電力増幅回路32cの出力端に接続され、第1、第2、第3のトランスファ・ゲートの出力端が対応する共通の圧電アクチュエータ4の一端に接続されている。そして、図示せぬ駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第1のトランスファ・ゲートの制御端に入力されると、第1のトランスファ・ゲートがオンとなって電力増幅回路32aから出力される大滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に印加する。

## 【0041】

圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、この振動板3の変位により、圧力発生室2を急激に体積変化（増加・減少）させて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から大滴のインク滴1を吐出させる。駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第2のトランスファ・ゲートの制御端に入力されると、第2のトランスファ・ゲートがオンとなって電力増幅回路32bから出力される中滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2を体積変化させて、インクが充填された圧力発生室2に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から中滴のインク滴1を吐出させる。また、駆動制御回路から出力される印字情報に対応する階調制御信号が第3のトランスファ・ゲートの制御端に入力されると、第3のトランスファ・ゲートがオンとなって電力増幅回路32cから出力される小滴吐出用の増幅駆動電圧波形信号（図4（a））を圧電アクチュエータ4に印加する。圧電アクチュエータ4は、このとき、印加される増幅駆動電圧波形信号に応じた変位を振動板3に与え、振動板3の変位により、圧力発生室2に体積変化を生じさせて、インクが充填された圧力発生室2内に所定の圧力波を発生させ、この圧力波によってノズル7から小滴のインク滴1を吐出させる。吐出したインク滴は、記録紙等の記録媒

体上に着弾し、記録ドットを形成する。このような記録ドットの形成を印字情報に基づいて繰り返し行うことにより、記録紙上に文字や画像が多階調記録される。この実施例では、2値記録専用のインクジェット記録装置には、図2の駆動回路が組み込まれ、階調記録も行うインクジェット記録装置には、図3の駆動回路が組み込まれる。

【0042】

上記した増幅駆動電圧波形信号は、図4(a)に示すように、圧力発生室2を膨張させてメニスカスを後退させるために、圧電アクチュエータ4への印加電圧Vを立ち下げる( $V_1 \rightarrow 0$ )第1の電圧変化プロセス41と、立ち下げられた印加電圧Vを暫時( $t_1'$ 時間)保持する( $0 \rightarrow 0$ )第1の電圧保持プロセス42と、圧力発生室2を圧縮してインク滴1を吐出させるために、電圧を立ち上げる( $0 \rightarrow V_2$ )第2の電圧変化プロセス43と、立ち上げられた印加電圧Vを暫時( $t_2'$ 時間)保持する( $V_2 \rightarrow V_2$ )第2の電圧保持プロセス44と、圧力発生室2を再び膨張させるために、電圧を立ち下げる( $V_2 \rightarrow 0$ )第3の電圧変化プロセス45とから構成され、第2、第3の電圧変化プロセス43、45における電圧変化時間 $t_2$ 、 $t_3$ を、圧力発生室2内に発生する圧力波の固有周期 $T_c$ に対して

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定されている。

【0043】

次に、この例のインクジェット駆動方法について、以下の駆動電圧波形条件で吐出実験を行った。すなわち、

基準電圧 $V_1 = 10V$

第1の電圧変化プロセス41での電圧変化時間 $t_1 = 3 \mu s$

第1の電圧保持プロセス42での電圧保持時間 $t_1' = 4 \mu s$

第2の電圧変化プロセス43での電圧変化時間 $t_2 = 2 \mu s$

第3の電圧変化プロセス45での電圧変化時間 $t_3 = 2 \mu s$

にそれぞれ設定し、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間 $t_2'$ を変化さ

せて、滴径の変化を調べた。なお、吐出時、すなわち、第2の電圧変化プロセス43での電圧変化量 $V_2$ は、常に、滴速が $6\text{ m/s}$ となるように調整した。図6は、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間 $t_2'$ とインクの滴径との関係を示す特性図で、実線は、上述の条件の下で得られた実測値、破線は、式(3)に基づいて、ノズル部7における体積速度 $u_3$ を算出し、この算出結果を式(4)に代入して、滴体積 $q$ を算出し、算出された滴体積 $q$ から求められた滴径の推算値である。図6からわかるように、絶対値に多少の差があるものの、理論値と実験値との間で良い一致が得られた。

#### 【0044】

図6からわかるように、第3の電圧変化プロセス45を加えることにより、インク滴を著しく小粒にすることが可能となり、特に、図4(b)に示すように、第2の電圧変化プロセス43の終了時刻と第3の電圧変化プロセス45の開始時刻とを一致させた場合、つまり、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間 $t_2'$ を $0\text{ }\mu\text{s}$ とした場合に、最も小さな滴径( $19\text{ }\mu\text{m}$ )のインク滴が得られ、 $20\text{ }\mu\text{m}$ レベルの微小滴吐出が可能になることが確認された。

#### 【0045】

次に、第2の電圧保持プロセス44での電圧保持時間 $t_2' = 0\text{ }\mu\text{s}$ の条件の下で、第2の電圧変化プロセス43の電圧変化時間(立ち上げ時間 $t_2$ )と、第3の電圧変化プロセス45の電圧変化時間(立ち下げ時間 $t_3$ )とを変化させて、インクの滴径の変化を実測した。図7は、立ち上げ時間 $t_2$ /立ち下げ時間 $t_3$ とインクの滴径との関係を示すグラフである。立ち上げ時間 $t_2$ 及び立ち下げ時間 $t_3$ を、圧力波の固有周期 $T_c$ の $1/2$ 以下に設定すれば、微小滴吐出が有効に行われることが、図7からわかる。

#### 【0046】

なお、吐出されるインクの滴径は、式(1)より明かなように、圧力波の固有周期 $T_c$ やノズル径に依存するため、第2の電圧変化プロセス43/第3の電圧変化プロセス45における立ち上げ時間 $t_2$ /立ち下げ時間 $t_3$ を、固有周期 $T_c$ の $1/2$ 以下に設定しても、必ずしも $20\text{ }\mu\text{m}$ レベルの微小滴が得られるとは限らない。すなわち、立ち上げ時間 $t_2$ /立ち下げ時間 $t_3$ を、固有周期 $T_c$ の $1/$

2以下に設定することは、 $20\mu\text{m}$ レベルの微小滴を得る上での十分条件ではなく、必要条件である。

【0047】

次に、従来技術との比較のため、図17に示す従来駆動電圧波形によって、吐出実験を行った。すなわち、

基準電圧  $V_1 = 10\text{V}$

第1の電圧変化プロセス54での電圧変化時間  $t_1 = 3\mu\text{s}$

電圧保持プロセス5での電圧保持時間  $t_1' = 4\mu\text{s}$

にそれぞれ設定し、吐出時、すなわち、第2の電圧変化プロセス56での立ち上げ時間  $t_3$  を変化させて吐出されるインクの滴径の変化を調べた。なお、吐出時の電圧変化量  $V_2$  は、常に、滴速が  $6\text{m/s}$  となるように調整した。

図8は、第2の電圧保持プロセス56での立ち上がり時間  $t_2$  とインクの滴径との関係を示す特性図で、実線は、上述の条件の下で得られた実測値、破線は、式(3)及び式(4)に基づいて求められた滴径の推算値である。図8からわかるように、絶対値に多少の差があるものの、理論値と実験値との間で良い一致が得られた。図8から明らかなように、 $t_3 < T_c$  ( $T_c$ : 圧力波の固有周期) の範囲では、立ち上げ時間  $t_3$  の減少に伴って滴径が直線的に減少する。したがって、図17に示すような従来の「メニスカス制御(引き打ち)」波形を用いる場合にも、立ち上げ時間  $t_3$  は、できるだけ小さく設定した方が微小滴吐出に有利となる。しかし、立ち上げ時間  $t_3$  を仮に  $0\mu\text{s}$  に設定できたとしても、図8から予測される滴径は約  $28\mu\text{m}$  であり、 $20\mu\text{m}$  レベルの微小滴を得ることは困難である。

【0048】

## ◇第2実施例

図9は、この発明の第2実施例であるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

この第2実施例では、増幅駆動電圧波形信号が、同図に示すように、圧力発生室2を膨張させてメニスカスを後退させるために、圧電アクチュエータ4への印加電圧  $V$  を立ち下げる ( $V_1 \rightarrow 0$ ) 第1の電圧変化プロセス91と、立ち下げら

れた印加電圧  $V$  を暫時 ( $t_1'$  時間) 保持する ( $0 \rightarrow 0$ ) 第 1 の電圧保持プロセス 92 と、圧力発生室 2 を圧縮してインク滴 1 を吐出させるために、電圧を立ち上げる ( $0 \rightarrow V_2$ ) 第 2 の電圧変化プロセス 93 と、立ち上げられた印加電圧  $V$  を暫時 ( $t_2'$  時間) 保持する ( $V_2 \rightarrow V_2$ ) 第 2 の電圧保持プロセス 94 と、圧力発生室 2 を再び膨張させるために、電圧を立ち下げる ( $V_2 \rightarrow 0$ ) 第 3 の電圧変化プロセス 95 と、立ち下げられた印加電圧  $V$  を暫時 ( $t_3'$  時間) 保持する ( $0 \rightarrow 0$ ) 第 3 の電圧保持プロセス 96 と、残響抑制用の圧力波を発生させるために、電圧を再び立ち上げる ( $0 \rightarrow V_1$ ) 第 4 の電圧変化プロセス 97 とから構成され、第 2、第 3 の電圧変化プロセス 93, 95 における電圧変化時間  $t_2, t_3$  を、圧力発生室 2 内に発生する圧力波の固有周期  $T_c$  に対して、

$$0 < t_2 < T_c / 2$$

$$0 < t_3 < T_c / 2$$

の長さに設定されている。なお、圧力波の残響を効率良く打ち消すためには、第 4 の電圧変化プロセス 97 における電圧変化時間  $t_4$  を、圧力発生室 2 内に発生する圧力波の固有周期  $T_c$  に対し、

$$0 < t_4 < T_c / 2$$

の長さに設定するのが好ましい。つまり、第 4 の電圧変化プロセス 97 及びこれに伴う第 3 の電圧保持プロセス 96 を設けた点以外は、上述の第 1 実施例の構成と略同様である。

#### 【0049】

次に、この第 2 実施例のインクジェット駆動方法について、以下の駆動電圧波形条件で吐出実験を行った。すなわち、

基準電圧  $V_1 = 10 \text{ V}$

吐出時、すなわち、第 2 の電圧変化プロセス 93 での電圧変化量  $V_2 = 8 \text{ V}$

第 1 の電圧変化プロセス 91 での電圧変化時間  $t_1 = 3 \mu \text{ s}$

第 1 の電圧保持プロセス 92 での電圧保持時間  $t_1' = 4 \mu \text{ s}$

第 2 の電圧変化プロセス 93 での電圧変化時間  $t_2 = 2 \mu \text{ s}$

第 2 の電圧保持プロセス 94 での電圧保持時間  $t_2' = 0 \mu \text{ s}$

第 3 の電圧変化プロセス 95 での電圧変化時間  $t_3 = 2 \mu \text{ s}$

第3の電圧保持プロセス96での電圧保持時間  $t_3' = 2 \mu s$

第4の電圧変化プロセス97での電圧変化時間  $t_4 = 3 \mu s$

の電圧条件で、図9の駆動電圧波形で駆動した場合に生じる、ノズル部7におけるインクの体積速度変化を式(3)及び式(4)を用いて算出した。この算出結果を図10(b)に粒子速度として示す。

【0050】

次に、第1実施例との比較のため、図4に示す従来駆動電圧波形によって、吐出実験を行った。すなわち、

基準電圧  $V_1 = 10 V$

吐出時、すなわち、第2の電圧変化プロセス93での電圧変化量  $V_2 = 8 V$

第1の電圧変化プロセス91での電圧変化時間  $t_1 = 3 \mu s$

第1の電圧保持プロセス92での電圧保持時間  $t_1' = 4 \mu s$

第2の電圧変化プロセス93での電圧変化時間  $t_2 = 2 \mu s$

第2の電圧保持プロセス94での電圧保持時間  $t_2' = 0 \mu s$

第3の電圧変化プロセス95での電圧変化時間  $t_3 = 2 \mu s$

の電圧条件で、図4の駆動電圧波形で駆動した場合に生じる、ノズル部7におけるインクの体積速度変化を式(3)及び式(4)を用いて算出した。この算出結果を図10(a)に粒子速度として示す。

【0051】

第1実施例の駆動電圧波形(図4)で駆動した場合、第1～第3の電圧変化プロセス41, 43, 45の作用により、ノズル径よりも小さなインク滴の吐出が可能となる反面、良好な吐出安定性を得られない場合がある。これは、図10(a)からわかるように、第1実施例の駆動電圧波形(図4)で駆動した場合、吐出後にも、言い換えれば、インク滴の吐出に関与する第1波の後にも、大きな圧力波の残響が発生し、これが吐出安定性を悪化させるからである。発明者等の実験によると、このように大きな圧力波残響が発生した状態では、サテライトの発生状態が不安定になり易い上、特に、高い駆動周波数で吐出不良が発生し易いことが明らかになっている。

【0052】



これに対して、第2実施例の駆動電圧波形（図9）で駆動した場合、第1から第3の電圧変化プロセス91, 93, 95に引き続いて、第4の電圧変化プロセス97が加えられることで、発生する圧力波残響と相殺する圧力波が発生するので、図10（b）からわかるように、第一波以降で体積速度の振幅が大きく減衰する。したがって、吐出後における圧力波残響の発生が有効に抑制されることがわかる。それゆえ、この第2実施例の駆動方法によれば、高い駆動周波数でも微小滴を安定に吐出できる。

## 【0053】

図11は、残響抑制の有無による吐出状態の変化を写す写真である。

図11の写真から明らかなように、第1実施例（残響抑制なし）の場合には、8kHz以上の駆動周波数でインク滴の尾が曲がったり、サテライトの飛翔状態が不安定化するのに対し（同図の写真（a））、第2実施例（残響抑制あり）の場合には、10kHzでも吐出状態がほとんど変化しないことが確認された（同図の写真（b））。

## 【0054】

なお、この第2実施例において、効率良く圧力波残響を抑制するには、第4の電圧変化プロセス97の電圧変化時間 $t_4$ を圧力波の固有周期 $T_c$ の半分以上に設定することが望ましい。また、第2の電圧変化プロセス93の開始時刻と、第4の電圧変化プロセス97の開始時刻との時間間隔（ $t_2 + t_2' + t_3 + t_3'$ ）が、圧力発生室2内の圧力波の固有周期 $T_c$ に対し、略1/2に設定することによって最も効率的に圧力波の残響を抑制できる。これは、第2の電圧変化プロセス93によって発生された圧力波に対して、位相が逆の圧力波が発生されることにより、圧力波が効率的に打ち消されるためである。

## 【0055】

以上、この発明の実施例を図面により詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。例えば、ノズルやインク供給孔の形状は、テーパ形状に限らない。同様に、開口形状は、円形状に限らず、長方形や三角形やその他の形状でも良い。また、ノズル、圧力発生室、インク供給孔のそれぞれの

位置関係も、この実施例で示した構造に限定されるものではなく、例えば、ノズルを圧力発生室の中央部等に配置しても勿論良い。

## 【0056】

また、上述の第1実施例では、第1の電圧変化プロセス終了時の電圧（0 V）と、第3の電圧変化プロセス終了時の電圧（0 V）とを一致させているが、これに限定されず、互いに、異なった電圧に設定しても良い。また、上述の第2実施例では、第2～第4の電圧変化プロセス93, 95, 97の電圧変化時間 $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ を一致させているが、これに限らず、それぞれの電圧変化時間を別個に設定しても良い。また、上述の第2実施例では、第4の電圧変化プロセス終了時の電圧を基準電圧に一致させるようにしたが、これに限定されず、異なった電圧に設定しても良い。また、上述の実施例では、基準電圧を0 Vからオフセットさせているが、これに限らず、基準電圧を任意に設定して良い。

## 【0057】

また、上述の実施例では、圧力波の固有周期 $T_c$ が $14 \mu s$ である記録ヘッドについての実験結果を示したが、固有周期 $T_c$ がこれと異なる場合においても、上述の実施例で述べたと略同様の効果が得られることが適用可能であることが確認されている。ただし、 $20 \mu m$ レベルの微小滴吐出を行う場合には、固有周期は $20 \mu s$ 以下に設定することが望ましい。

## 【0058】

また、上述の実施例では、ノズル径 $30 \mu m$ の記録ヘッドを用いたが、これに限らず、開口径が $20 \sim 40 \mu m$ のノズルを備えるインクジェット記録ヘッドを駆動して、滴径 $5 \sim 25 \mu m$ のインク滴を吐出させることができる。なお、目詰まりの問題が将来解決すれば、ノズル径の実用上の下限が、 $20 \mu m$ 程度にまで伸びることが予想される。

また、上述の実施例では、カイザー型インクジェット記録ヘッドを用いたが、カイザー型に限定されない。

## 【0059】

## 【発明の効果】

以上説明したように、この発明の構成によれば、ノズル径よりも小さな径の微

小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できる。具体的には、ノズル径が  $30\text{ }\mu\text{m}$  でも  $20\text{ }\mu\text{m}$  レベルの微小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

(a) は、この発明の第 1 実施例であるインクジェット記録装置に搭載されるインクジェット記録ヘッドの構成を示す断面図、(b) は、同インクジェット記録ヘッドを分解して示す分解断面図である。

【図 2】

同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径非変調型駆動回路の電氣的構成を示すブロック図である。

【図 3】

同インクジェット記録ヘッドを駆動する滴径変調型駆動回路の電氣的構成を示すブロック図である。

【図 4】

同インクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

【図 5】

同駆動電圧波形によって、ノズル部に生じるインクの体積速度波形を示す波形図である。

【図 6】

同実施例の効果を説明するための図である。

【図 7】

同実施例の効果を説明するための図である。

【図 8】

同実施例の効果を説明するための図である。

【図 9】

この発明の第 2 実施例であるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

【図 10】

同実施例の効果を説明するための図である。

【図 11】

同実施例の効果を説明するための図で、残響抑制の有無による吐出状態の変化を写す写真である。

【図 12】

この発明に適用されるインクジェット記録ヘッドのインク充填状態における等価電気回路図である。

【図 13】

同インクジェット記録ヘッドの駆動方法を説明するための波形図である。

【図 14】

同インクジェット記録ヘッドの駆動方法を説明するための波形図である。

【図 15】

従来技術を説明するための図で、オンデマンド型インクジェット記録ヘッドのうち、カイザー型と呼ばれるインクジェット記録ヘッドの基本構成を概略示す断面図である。

【図 16】

従来におけるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

【図 17】

従来における別のインクジェット記録ヘッドの駆動方法に採用される駆動電圧波形の構成を示す波形図である。

【符号の説明】

- 1        インク滴
- 2        圧力発生室
- 3        振動板
- 4        圧電アクチュエータ（電気機械変換器）
- 7        ノズル
- 41, 91    第1の電圧変化プロセス

43, 93 第2の電圧変化プロセス

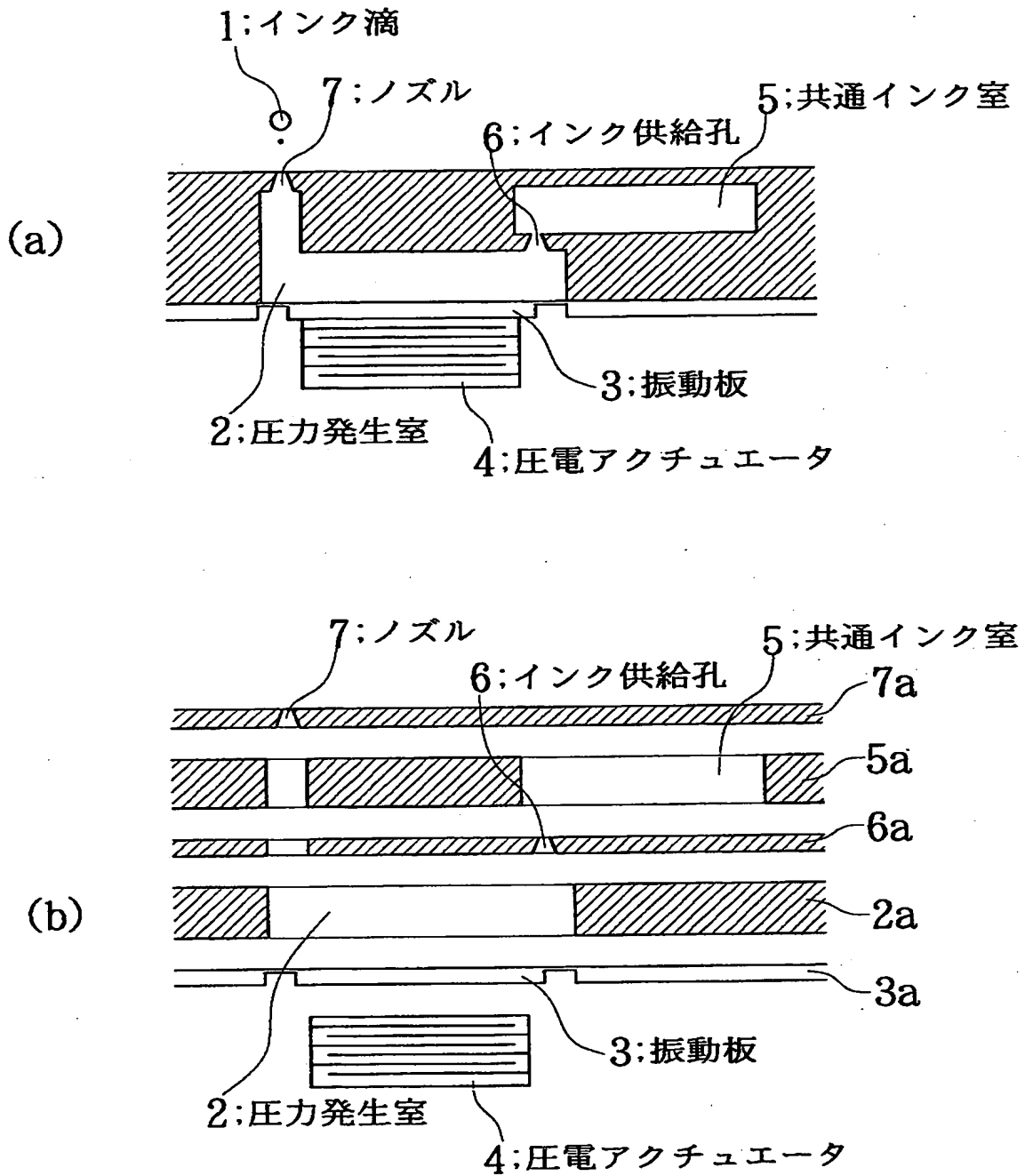
45, 95 第2の電圧変化プロセス

V97 第4の電圧変化プロセス

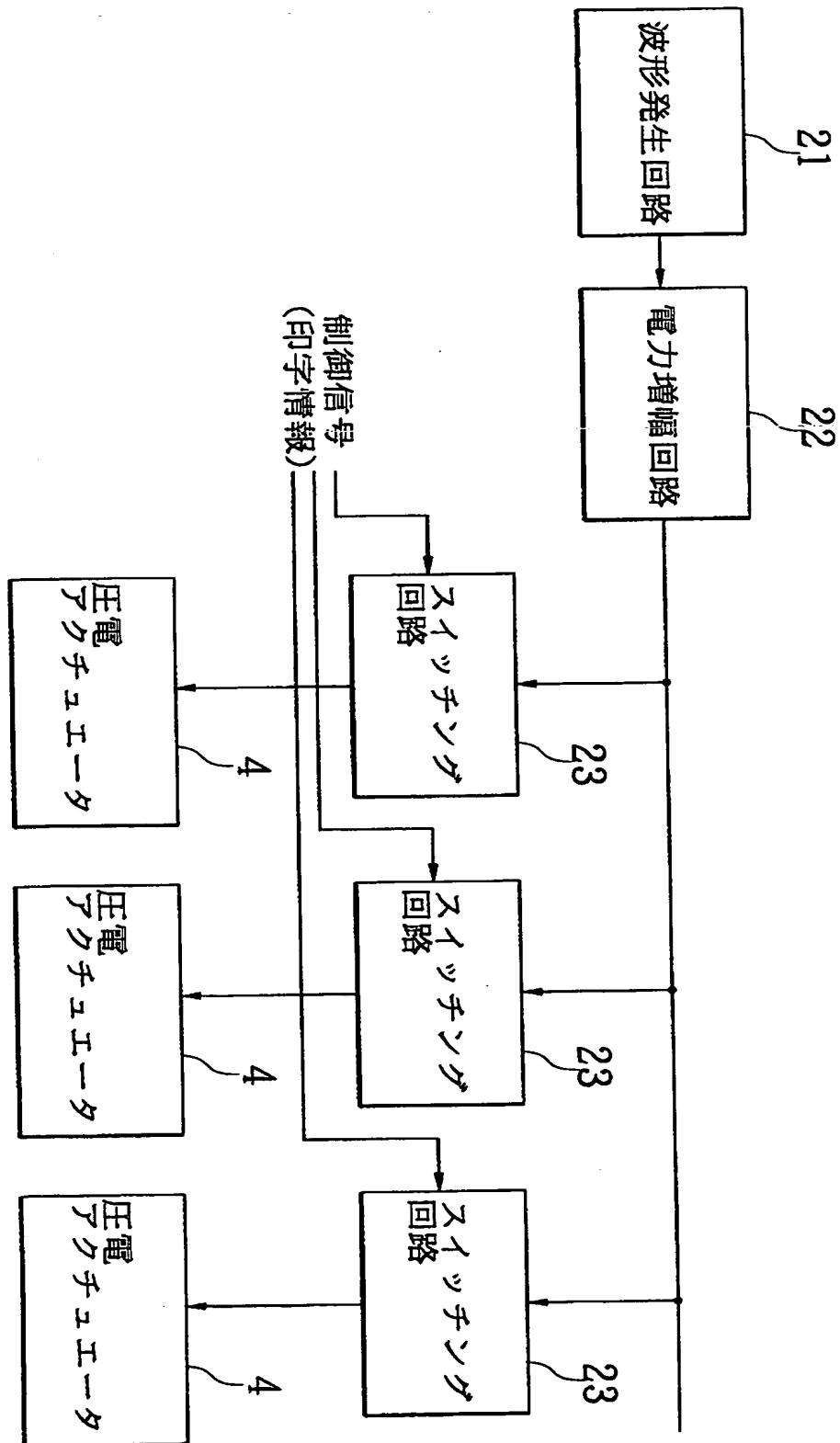
【書類名】

図面

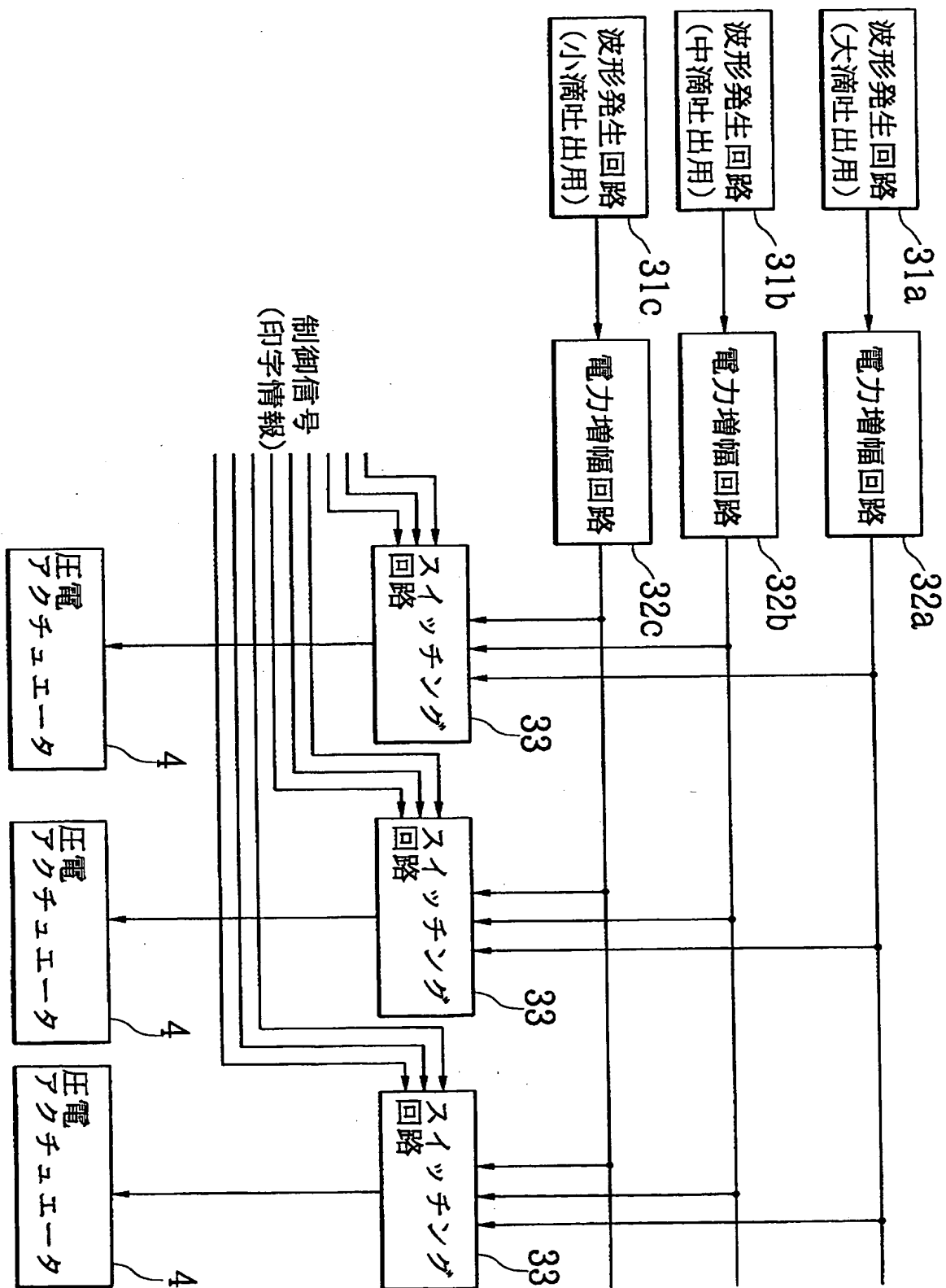
【図 1】



【図 2】

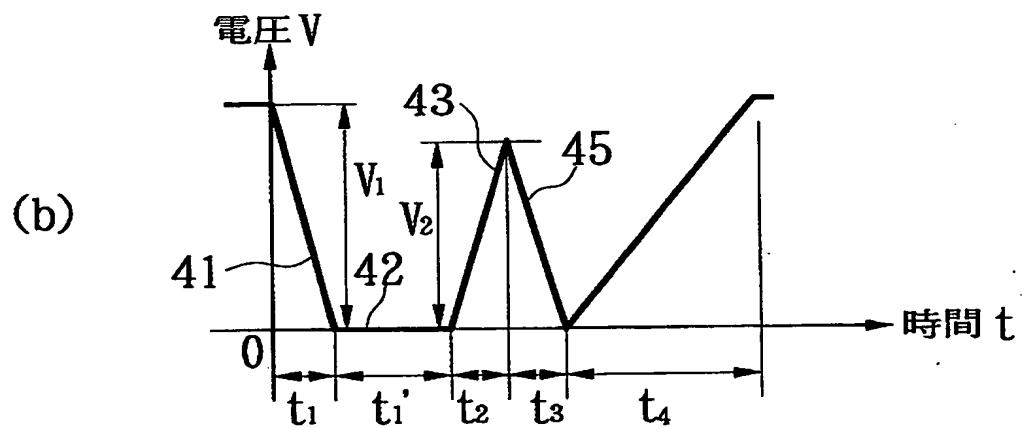
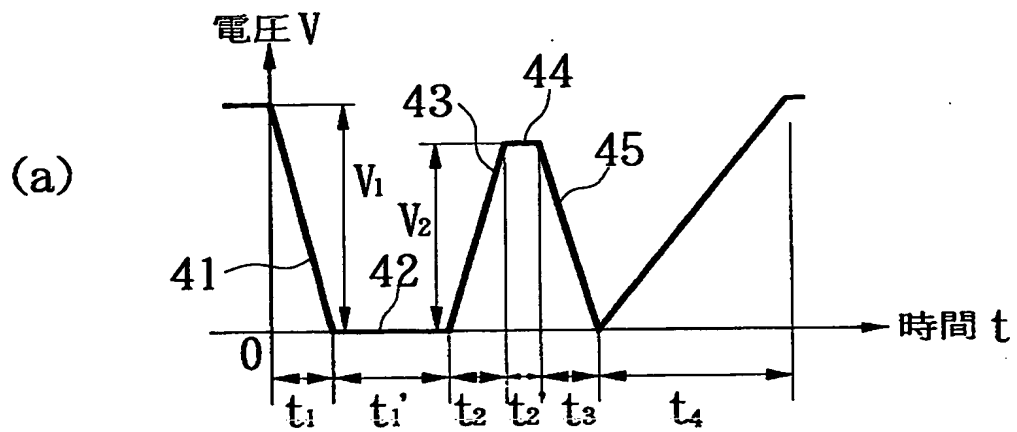


【図 3】

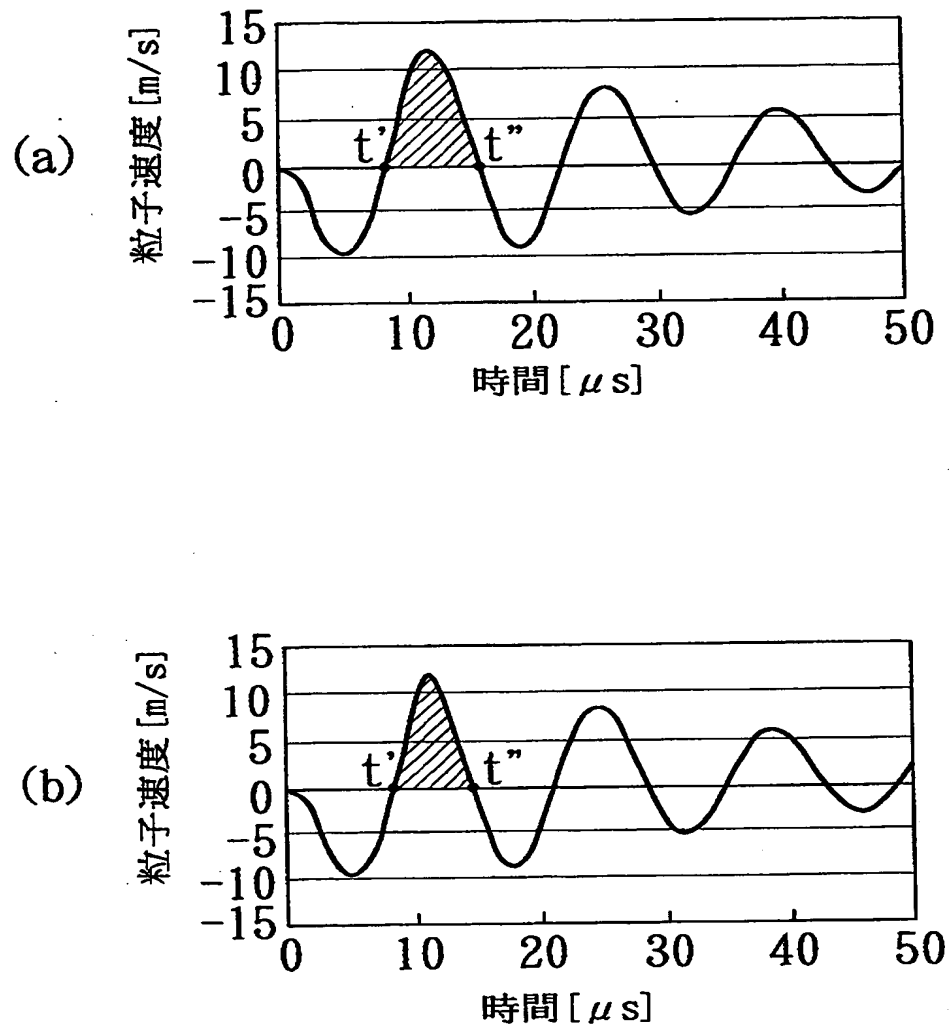




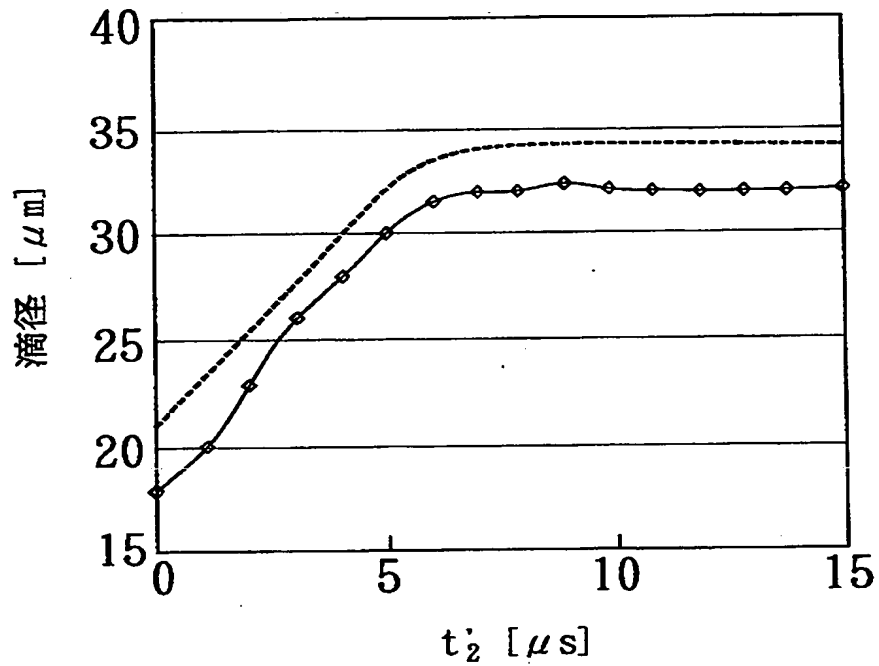
【図4】



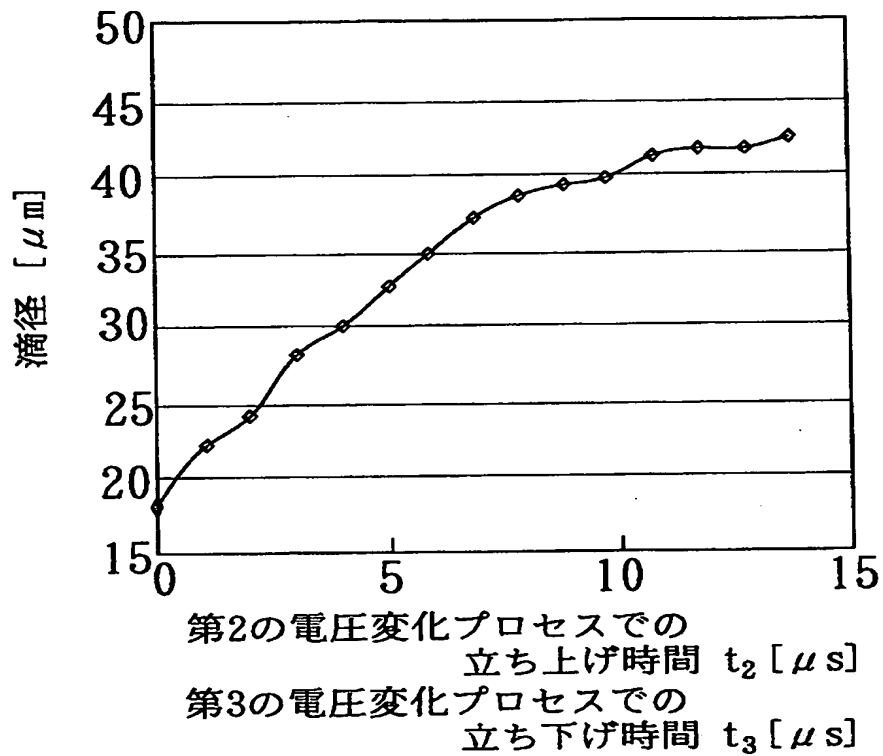
【図 5】



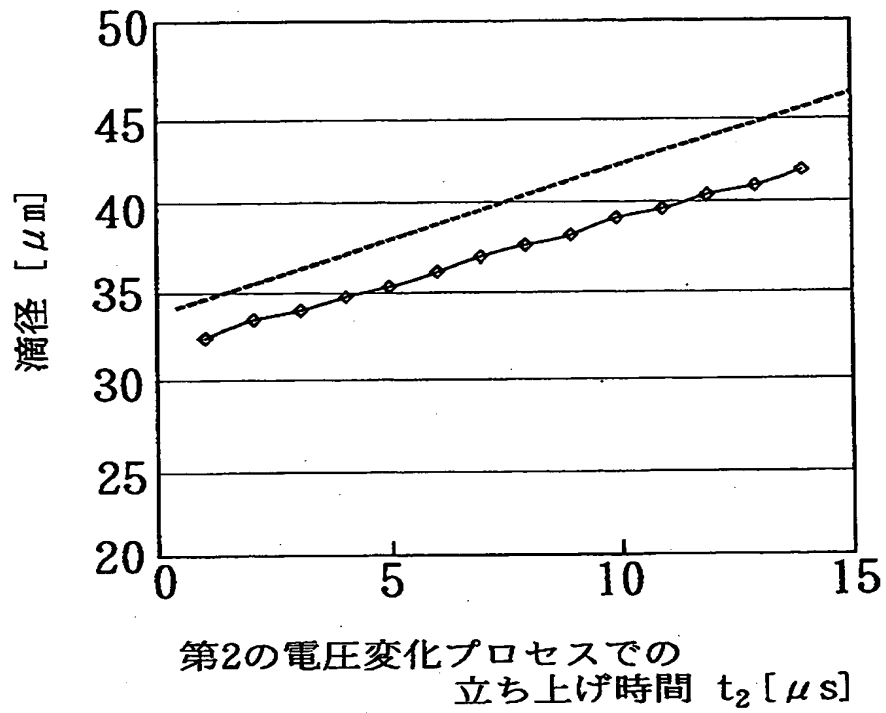
【図 6】



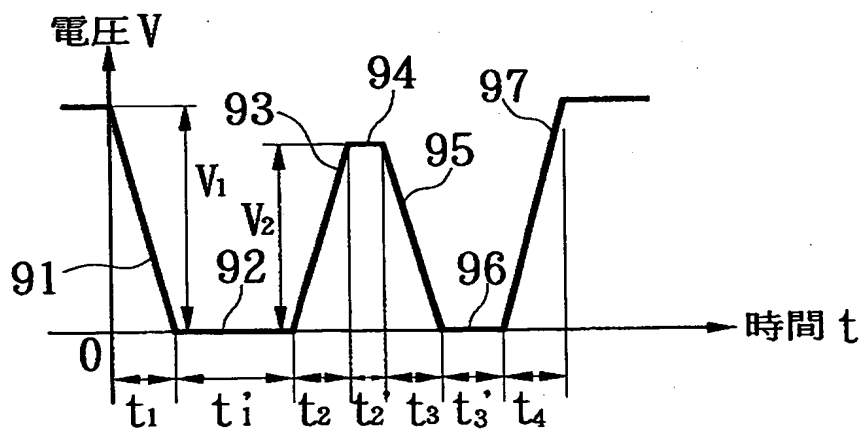
【図 7】



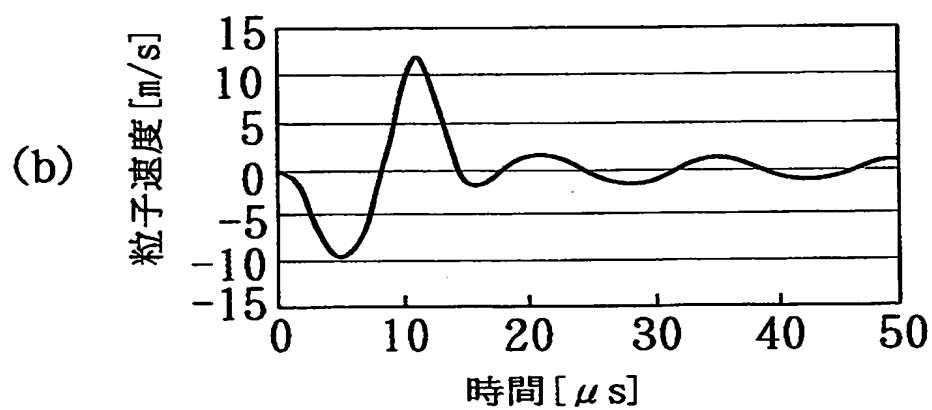
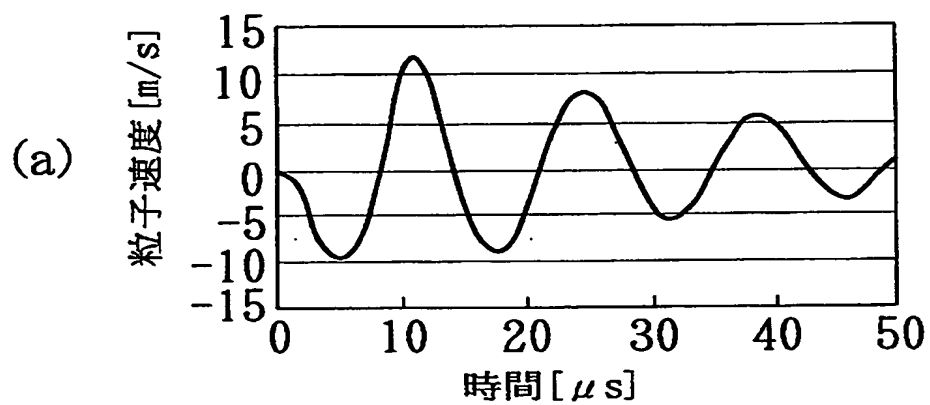
【図8】



【図9】

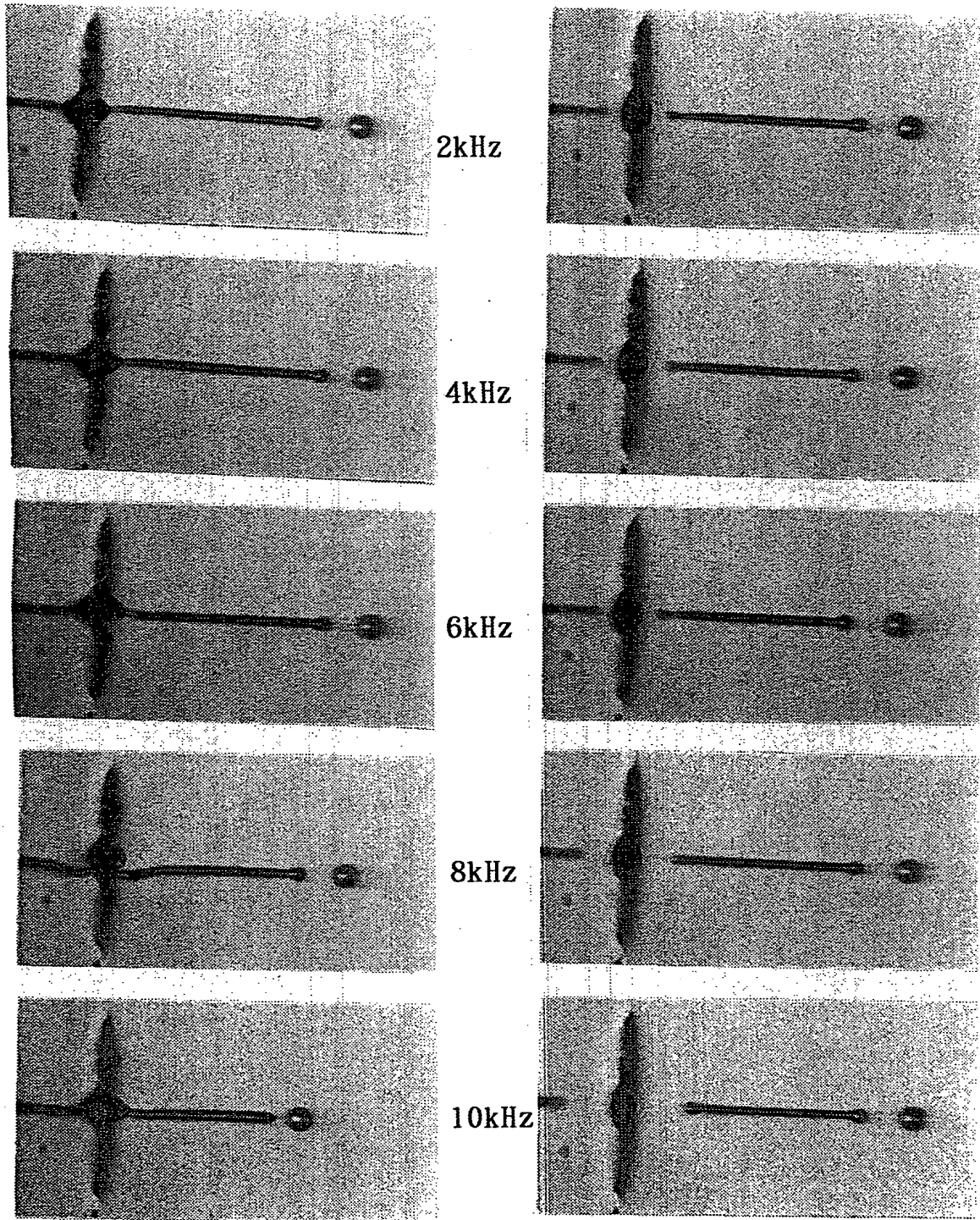


【図 10】



【図 11】

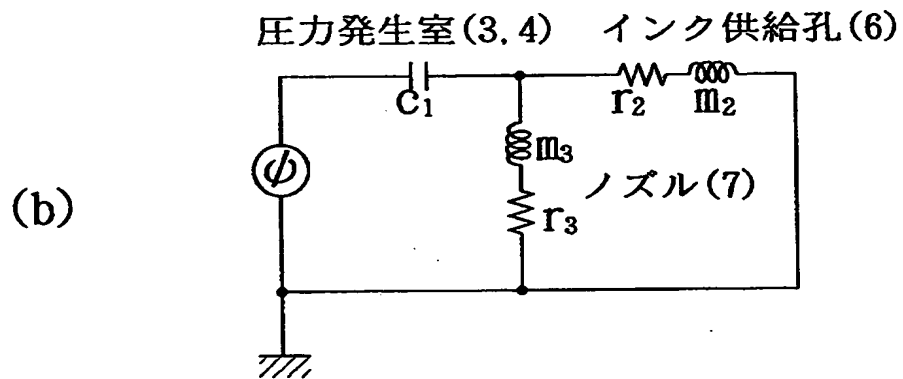
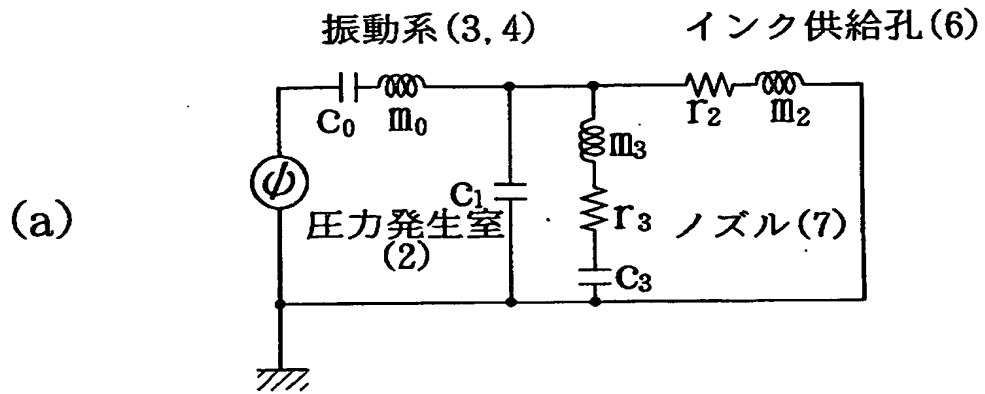
図面代用写真



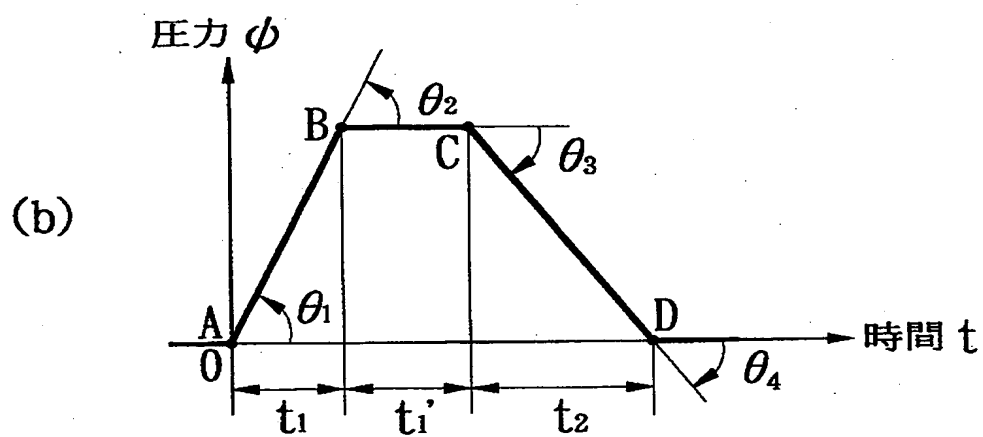
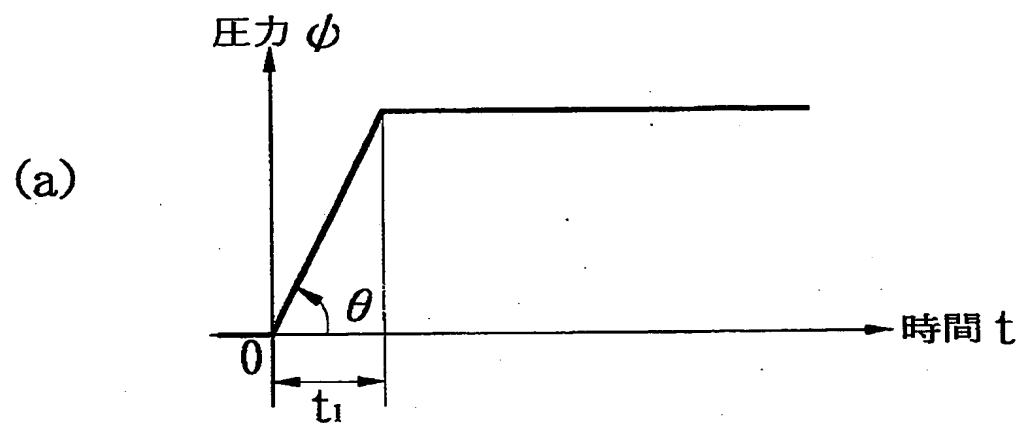
(a) 残響抑制なし

(b) 残響抑制あり

【図 12】

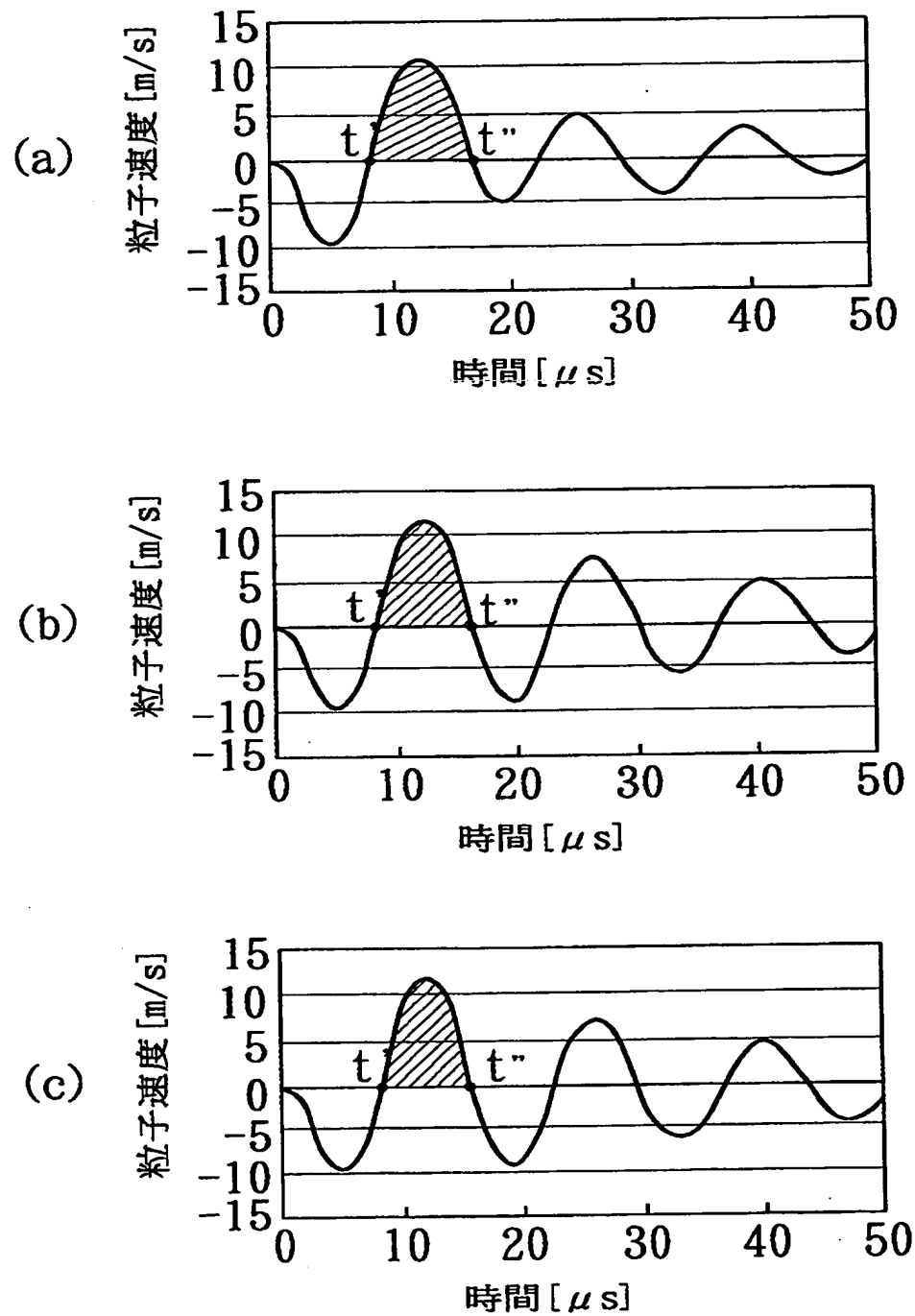


【図 13】

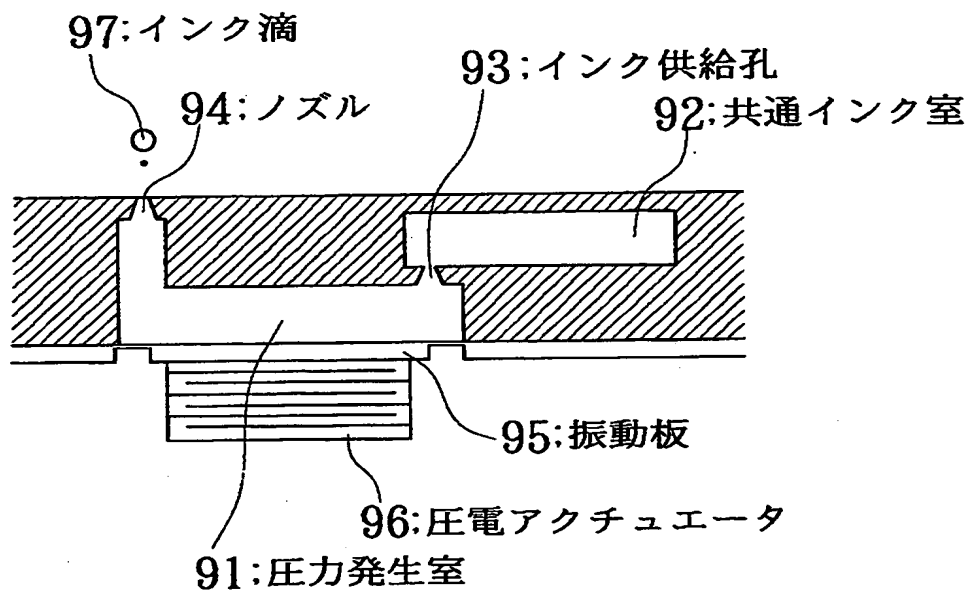




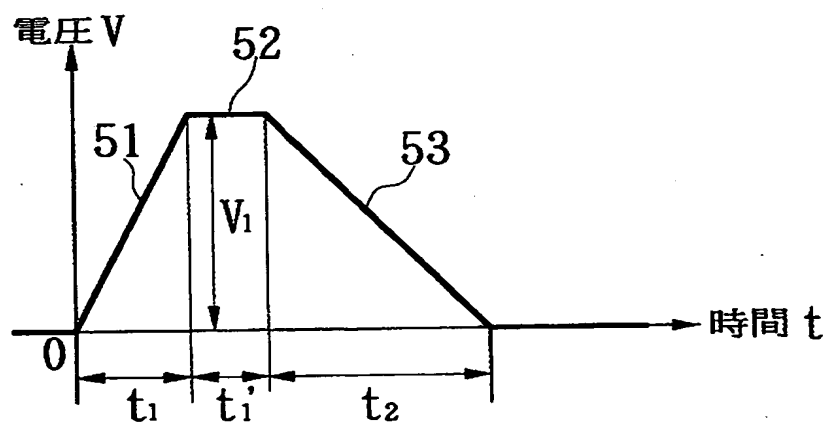
【図 14】



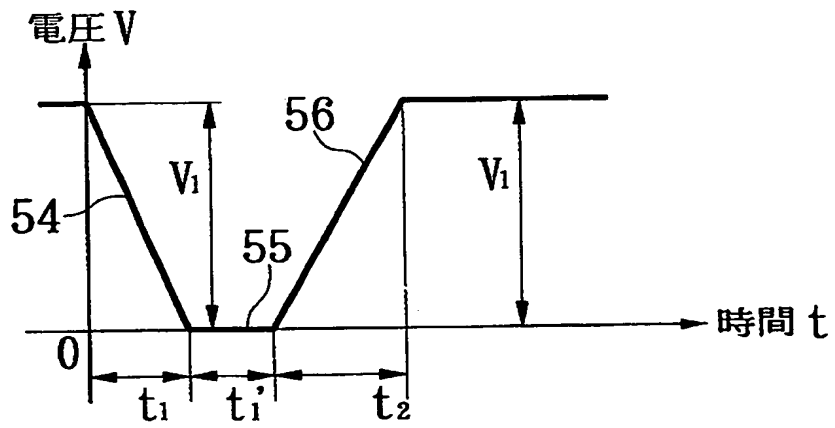
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ノズル径よりも小さな径の微小インク滴を、高い駆動周波数でも安定に吐出できるようにする。

【解決手段】 開示される発明は、圧電アクチュエータ 4 に駆動電圧を印加し、圧力発生室 2 内に圧力変化を生じさせることで、圧力発生室 2 に連通されるノズル 7 からインク滴 1 を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法に係り、駆動電圧波形を、圧力発生室 2 を膨張させる方向に、電圧を印加する第 1 の電圧変化プロセスと、次いで、圧力発生室 2 を圧縮する方向に、電圧を印加する第 2 の電圧変化プロセスと、圧力発生室 2 を再び膨張させる方向に、電圧を印加する第 3 の電圧変化プロセスとから構成し、かつ、第 2、第 3 の電圧変化プロセスにおける電圧変化時間  $t_2$ ,  $t_3$  を、圧力発生室 2 内に発生する圧力波の固有周期  $T_c$  に対して、 $0 < t_2 < T_c/2$ ,  $0 < t_3 < T_c/2$  の長さに設定した。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成10年 特許願 第318443号
受付番号	49835500146
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成11年 1月20日

<認定情報・付加情報>

特平10-318443

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社